

物理基礎・物理（後期日程）

（ 注 意 事 項 ）

1. 試験開始までに表紙の注意事項をよく読んでください。
2. 試験開始の合図があるまで、この冊子を開いてはいけません。
3. 試験開始の合図があったら、すぐに用紙の種類と枚数を確かめ、受験番号をすべてに記入してください。
 - 物理基礎・物理その1 1枚
 - 物理基礎・物理その2 1枚
 - 物理基礎・物理その3 1枚
4. 配付された用紙の種類や枚数が異なる場合や印刷が不鮮明な場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。
5. 試験終了後、すべての用紙を回収します。
6. 問題の中で、（計算など）とあるところは計算、式、考え方など答えを導くのに必要なことを必ず書いてください。
7. 問題用紙の余白や裏面を草案に使用しても構いませんが、採点の対象にはなりません。

受 験 番 号

問題1 地球は一様な密度で質量 M 、半径 R の球体と仮定し、万有引力定数は G とする。他の天体からの影響はないものとし、空気抵抗は無視できるものとする。以下の問に答えよ。

(1) 物体を高い山から十分な大きさの初速度で水平に発射すると、地球のまわりを回り続ける。このように地面に落下せず、地表すれすれを回り続けるときの速度の大きさを第1宇宙速度 V_1 とする。第1宇宙速度 V_1 を M 、 R 、 G を用いて表せ。
(計算など)

答 _____

(2) 地表からある初速度で投射された物体が、地球の引力に逆らって無限遠方にまで飛んでいくための最小の初速度の大きさを第2宇宙速度 V_2 とする。第2宇宙速度 V_2 を M 、 R 、 G を用いて表せ。
(計算など)

答 _____

(3) 質量 m の物体を地上から打ち上げたところ、物体が地表から最大高度 h の点 P に達した。このときこの物体に働く万有引力の大きさ F および万有引力による位置エネルギー U を m 、 M 、 R 、 G 、 h を用いて表せ。ただし、無限遠を万有引力による位置エネルギーの基準点とする。
(計算など)

答 F : _____ U : _____

(4) この物体が点 P に到達した直後、地球の中心と点 P を結んだ直線と垂直な向きに短い時間だけ加速させたところ、この物体は軌道半径（地球中心からの距離） r_1 で等速円運動をはじめた。物体の速さを v_1 、等速円運動の周期を T_1 としたとき、 v_1 および T_1 を m 、 M 、 G 、 r_1 を用いて表せ。円周率は π を用いよ。
(計算など)

答 v_1 : _____ T_1 : _____

(5) この物体を短い時間だけ加速させたところ、物体は地球を焦点とするだ円軌道に移行した。だ円の長軸の長さは r_1 の4倍としたとき、だ円軌道の周期 T_2 を、周期 T_1 を用いて表せ。
(計算など)

答 _____

| | |
|-------------|-------------|
| 受 験 番 号 | 小 計 |
| <div></div> | <div></div> |

問題2 図1のように、半径 R_1 と R_2 の球面の一部からなる形状のガラス製両凸レンズの焦点距離 f について考える。 R_1 や R_2 と比べて、レンズの厚さ d は十分小さいものとする。それぞれの球面の中心を O_1 、 O_2 とし、線分 O_1O_2 に平行で距離 h だけ離れた直線とレンズの交点を P_1 、 P_2 とする。レンズの左側、レンズの中心 C からの距離が a である点 A を発した光は、レンズの右側、 C からの距離が b である点 B で像を結んだ。空気に対する、ガラスの相対屈折率は n とする。 $|x|$ が1と比べて十分小さいとき、 $\sin x \doteq x$ および $\tan x \doteq x$ の近似式を使えるものとする。以下の問に答えよ。

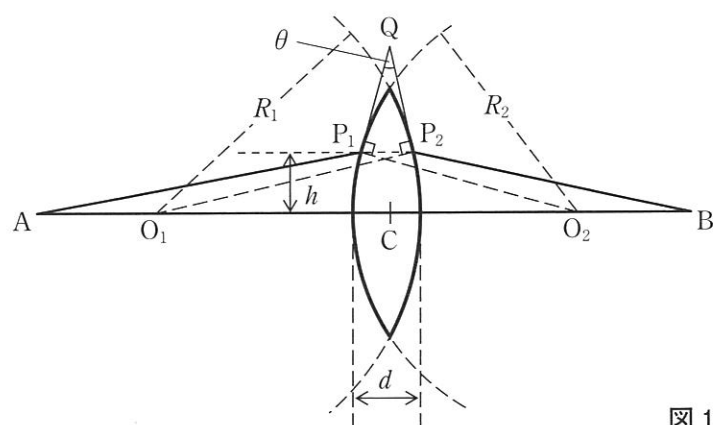


图 1

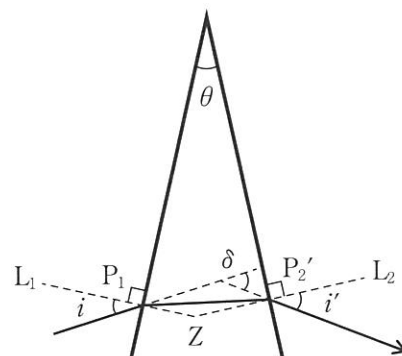
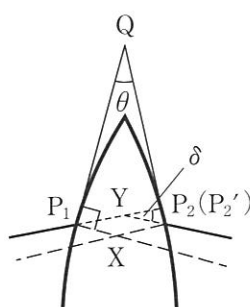


图 2

- (1) a と b を用いて f を表せ。

(計算など)

答

- (2) 点 O_1 , O_2 , P_1 , P_2 を含む平面上の点 Q は, $\angle QP_1O_2 = 90^\circ$ および $\angle QP_2O_1 = 90^\circ$ を満たす。線分 P_1O_2 と線分 P_2O_1 の交点を X , $\angle P_1QP_2 = \theta$ とおく。 h , R_1 , R_2 を用いて θ を表せ。ただし, R_1 や R_2 と比べて h は十分に小さいものとする。

(計算など)

答

- (3) A を発し P_1 を通過した光線は点 P_2' を通過して B に向かうものとする。直線 AP_1 と直線 $P_2'B$ の交点を Y, 両者のなす角を δ とする。 h, a, b を用いて δ を表せ。ただし, a や b と比べて h は十分に小さいものとし, P_2' は P_2 と同一の点と見なせるものとする。

(計算など)

答

- (4) A を発し P_1 を通過する光線の屈折の様子を理解しやすくするため、球面レンズを三角柱のプリズムで置き換えたものを図 2 に示す。プリズムの左側面に垂直で P_1 を通過する直線を L_1 、右側面に垂直で P_2' を通過する直線を L_2 とする。 L_1 と AP_1 のなす角、および、 L_2 と BP_2' のなす角をそれぞれ i および i' とする。 L_1 と L_2 の交点を Z 、 $\angle ZP_1P_2' = r$ 、 $\angle ZP_2'P_1 = r'$ とおく。 i と r 、および、 i' と r' の間に成り立つ関係式を記せ。

答 i と r :

i' と r' :

- (5) δ を n, r, r' を用いて表せ。ただし, i, r, i', r' は 1 と比べて十分に小さいものとする。

(計算など)

答

- (6) $r + r' = \theta$ であることを利用して, f を n , R_1 , R_2 を用いて表せ。

(計算など)

答

| 受 験 番 号 | 小 計 |
|---------|-----|
| | |

問題3 図のように、抵抗値が等しく r の抵抗12本をつなげて回路を作り、AからBへ電流を流す。スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 は、はじめ全て開いている。以下の問に答えよ。ただし、導線および閉じているスイッチの抵抗は無視できるものとする。

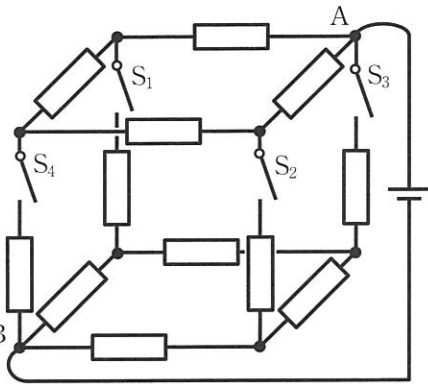
- (1) スイッチ S_1 と S_2 を閉じたときのAB間の合成抵抗 R_{12} を求めよ。
(計算など)

答

- (2) スイッチ S_1 と S_2 を開き、次にスイッチ S_3 と S_4 を閉じたときのAB間の合成抵抗 R_{34} を求めよ。
(計算など)

答

- (3) スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 を全て閉じたときのAB間の合成抵抗 R_{1234} を求めよ。
(計算など)



図

答

問題4 体積を自由に変えられる容器に入れた理想気体を用いて、温度 T_L の熱源（低熱源）から温度 $T_H(>T_L)$ の熱源（高熱源）に熱を移動させることを考える。熱源の熱容量は無限大、容器の熱容量は無視できるものとし、気体は2つの熱源以外と熱のやり取りをしないものとする。最初の状態（状態A）において気体の温度は T_L であったとし、気体を低熱源に接触させながら体積をゆっくりと $a(>1)$ 倍に等温膨張させた結果を状態Bとする。その後気体を熱源から離して、温度が T_H になるまで断熱圧縮した結果を状態Cとし、さらにその後気体を高熱源に接触させ、体積が状態Cの $\frac{1}{a}$ 倍になるまでゆっくりと等温圧縮した結果を状態Dとする。最後に気体を熱源から離し、体積が状態Aと同じになるまで断熱膨張させた結果を状態Eとする。温度はすべて絶対温度とする。以下の問に答えよ。なお、次の(ア)、(イ)を証明なしに用いて良い。(ア)理想気体の断熱変化においては温度 T 、体積 V の間に $TV^b = \text{一定}$ (b は気体の種類で決まる定数)の関係が成り立つ。(イ) n モルの理想気体を温度 T において体積 V_1 から体積 V_2 へとゆっくりと等温変化させるとき、気体が外にする仕事量は、気体定数 R と、ある関数 $F(x)$ によって $nRT \cdot F(\frac{V_2}{V_1})$ と表せる。

- (1) 状態Eの温度 T_E が T_L に等しいことを示せ。

答

- (2) $F(x)$ が気体のする仕事を決める関数であることから、任意の $x>0$ について $F(x) = -F(\frac{1}{x})$ が成り立つことを示せ。

答

- (3) (1)により、一連の過程 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ はサイクルを成すことがわかる。このサイクルを通して気体が外からされた正味の仕事量を W とし、過程 $A \rightarrow B$ において気体が熱源から吸収した熱量を Q とすると、 $\frac{Q}{W}$ を T_H と T_L で表せ。
(計算など)

答

| 受験番号 | 小計 |
|------|----|
| | |